

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-326629

(43)公開日 平成7年(1995)12月12日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
H 01 L 21/331  
29/73  
29/205

識別記号 域内整種番号

P I

技術表示箇所

H 01 L 29/72  
29/205

審査請求 未請求 請求項の数5 FD (全6頁)

(21)出願番号

特願平6-142212

(22)出願日

平成6年(1994)6月2日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 栗島 貴二

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 小林 陸

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

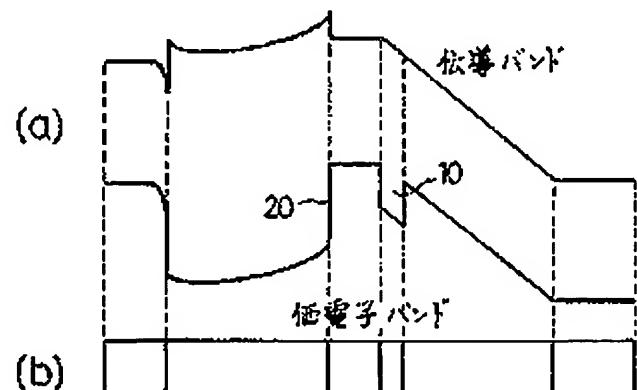
(74)代理人 弁理士 山川 政樹

(54)【発明の名称】 ヘテロ接合型バイポーラトランジスタ

(57)【要約】

【目的】 高速動作機能が可能なHBTを従来の結晶成長法を用いて容易に形成できるようにすることを目的とする。

【構成】 優導性不純物を含まないInAs<sub>x</sub>P<sub>1-x</sub>からなるスペーサ層9を用いることで、価電子バンド不連続10が形成されるようになるので、ベース・コレクタ接合付近での電界勾配が減少しても、ベース層3からコレクタ層2への正孔漏れを抑制することができる。



(2)

特開平7-326629

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 InP基板上に形成されたInGaAsまたはInPからなるコレクタ層と、

この上に形成されたInGaAsからなるベース層と、この上に形成されたInGaAsPあるいはInAlGaAsのグループからなるエミッタ層とからなるヘテロ接合型バイポーラトランジスタにおいて、

前記コレクタ層とベース層の間に、価電子バンド端の電子エネルギーが前記ベース層のそれよりも低いInAsPからなるスペーサ層が設けられていることを特徴とするヘテロ接合型バイポーラトランジスタ。

【請求項2】 請求項1記載のヘテロ接合型バイポーラトランジスタにおいて、

前記スペーサ層とコレクタ層との間に、前記コレクタ層より高い濃度の不純物が導入されたInGaAsからなるサブスペーサ層が設けられていることを特徴とするヘテロ接合型バイポーラトランジスタ。

【請求項3】 請求項1または2記載のヘテロ接合型バイポーラトランジスタにおいて、

前記スペーサ層のAsとPの組成比が、前記ベース層界面より前記コレクタ層界面にかけてAsが減少していくように連続的に変化していることを特徴とするヘテロ接合型バイポーラトランジスタ。

【請求項4】 InP基板上に形成されたInGaAsまたはInPからなるコレクタ層と、

この上に形成されたInGaAsからなるベース層と、この上に形成されたInGaAsPあるいはInAlGaAsのグループからなるエミッタ層とからなるヘテロ接合型バイポーラトランジスタにおいて、

前記コレクタ層とベース層の間に価電子バンド端の電子エネルギーがベース層のそれよりも低い、InAsとInPによる歪層超格子からなるスペーサ層が設けられていることを特徴とするヘテロ接合型バイポーラトランジスタ。

【請求項5】 請求項4記載のヘテロ接合型バイポーラトランジスタにおいて、

前記スペーサ層を構成する前記InAsの層厚が前記ベース層界面より前記コレクタ層界面にかけて相対的に減少し、前記InPの層厚が前記ベース層界面より前記コレクタ層界面にかけて相対的に増加していくことを特徴

10

20

30

40

ブの大きいエミッタ層を使用したものである。このため、エミッタ層とベース層との間に価電子バンドの不連続が形成され、ベース層となる半導体層の不純物濃度を高くしてもエミッタ注入効率を大きく保てることを最大の特徴としている。HBTの代表的な例として、NPN形のInP/InGaAs系のものが挙げられる。

【0003】図7は、従来のHBTのエネルギー・バンド状態を示すバンド図(a)と、その構成を示す断面図(b)である。同図において、1は半絶縁性InP基板上に形成されたN形不純物を高濃度に含むIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asからなるコレクタコンタクト層、2はコレクタコンタクト層1上に形成されたIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asからなるコレクタ層、3はコレクタ層2上に形成されたP型不純物を高濃度に含むIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asからなるベース層、4はベース層3上に形成されたN形不純物を含むInPからなるエミッタ層、5はエミッタ層4上に形成されたN形不純物を高濃度に含むIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asからなるエミッタコンタクト層である。

【0004】このHBTでは、エミッタ層4とベース層3との間に約り、3.6eVの価電子バンド不連続20が形成されており、これにより、ベース層3への価電子バンドに存在する正孔がエミッタ層3へと漏れしていくのを抑制している。したがって、ベース層3が高濃度のP型不純物を添加されても、エミッタ注入効率が劣化せず、高い電流利得を保持できるという特徴を有している。なお、通常のHBTにおいて、ベース層3からコレクタ層2への正孔漏れは、ベース・コレクタ間に印加された逆方向電圧によって抑制されている。この電界は、ベース層3からコレクタ層2へと漏れだした正孔をベース層へと引き戻すような働きかけをしている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の構造のHBTでは、ベース層からコレクタ層への正孔漏れを完全に抑制することが困難であるため、HBTの高速動作機能が低下してしまうという問題があった。この正孔漏れは、特に、コレクタ・エミッタ間に順方向電圧を印加したときや逆方向電圧が小さいときに、高密度のコレクタ電流を注入すると顕著になる。図8は、高電流密度のコレクタ電流を注入したときの従来のHBTのエネルギー・バンド状態を示すバンド図(a)と、その構成

(3)

特開平7-326629

3

ることができなくなってしまう。このような正孔漏れが生じると、実効的なコレクタ空乏層幅が縮小してしまい、ベース・コレクタ間のコレクタ接合容量が急激に増加し、HBTの高速動作機能が低下してしまう。

【0007】ここで、このような問題を解決するには、ベース層とコレクタ層の間に価電子バンド不連続を形成すればよい。図9(a)は、価電子バンド不連続が形成されたHBTのエネルギー-band状態をバンド図、図9(b)はそのHBTの構成を示す構成図である。同図において、6は半絶縁性InP基板に対して格子整合した状態で形成されたInGaAsSb(アンチモン化ヒインジウムガリウム)からなるベース層であり、ベース層6とコレクタ層2の間に価電子バンド不連続7が形成される。

【0008】このように、電位障壁を形成することでベース層6の正孔がコレクタ層2へと流れ出すのを防ぐことができる。この価電子バンド不連続7は、高電流密度のコレクタ電流を注入しても解消されることはないので、カーブ効果の低減には極めて有効である。しかし、アンチモンを含む材料を有機金属気相成長法(MOCVD)などの結晶成長法で形成する場合、良質な結晶品質を得ることが難しく、実用化に至っていない。

【0009】この発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、高速動作機能が可能なHBTを従来の結晶成長法を用いて容易に形成できるようにすることを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】この発明のヘテロ接合型バイポーラトランジスタは、コレクタ層とベース層の間に、価電子バンド端の電子エネルギーがベース層のそれよりも低いInAsPからなるスペーサ層が設けられていることを特徴とする。また、スペーサ層とコレクタ層との間に、コレクタ層より高い濃度の不純物が導入されたInGaAsからなるサブスペーサ層が設けられていることを特徴とする。また、スペーサ層のAsとPの組成比がベース層界面よりコレクタ層界面にかけてAsが減少していくように連続的に変化していることを特徴とする。

【0011】一方、コレクタ層とベース層の間に価電子バンド端の電子エネルギーがベース層のそれよりも低

4

コレクタ層への電界勾配がより急峻となる。また、スペーサ層のAs組成比をコレクタ層に向かって減少させたので、伝導バンドにおいて、ベース層との間に伝導バンド不連続が形成される。加えて、コレクタ層との間を伝導バンドがなめらかな状態に接合できる。

【0013】

【実施例】まず、この発明の概要について、図を参照して説明する。図1は、InAs,P<sub>x</sub>のバンド構造を示す説明図である。同図において、横軸はInAs組成比xを示し、縦軸はInPの価電子バンド端を0とした場合のバンド端エネルギーを示す。また、同図内には、InAs,P<sub>x</sub>との比較のために、In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asの伝導バンド端と価電子バンド端も破線で示した。

【0014】ここでは、InAs,P<sub>x</sub>が十分に薄く基板の材料であるInPに擬格子整合しているものとして、歪みによる静水圧や一軸応力の影響を考慮して計算した。なお、計算に必要なパラメータは文献(Indium Phosphide and Related Materials: Processing, Technology, and Devices, 1992 ARTECH HOUSE, INC. 出版)を参考にしている。

【0015】図1において、たとえばInAsの組成比が0.35のときのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asとの伝導バンド端は0eVであり、価電子バンド端のエネルギー差は、重い正孔と軽い正孔でそれぞれ約0.2eVと約0.25eVとなる。この、InAs<sub>0.53</sub>P<sub>0.47</sub>とIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asのヘテロ接合におけるエネルギー-bandの状態は、図2に示すようになる。すなわち、伝導バンド不連続が0eVで、価電子バンド不連続が0.2~0.25eV程度のヘテロ接合が構成される。

【0016】同様に、図3は、InAs<sub>0.53</sub>P<sub>0.47</sub>とIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asのヘテロ接合におけるエネルギー-bandの状態を示すバンド図である。図1に示したように、InAsの組成比が0.56のときのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asとの伝導バンド端、価電子バンド端のエネルギー差より、伝導バンド不連続が約0.1eV、価電子バンド不連続が約0.15eVとなるヘテロ接合が構成される。以上示したことより、たとえば、In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asよりなるベース・コレクタの間に、InAs<sub>0.53</sub>P<sub>0.47</sub>からなるスペーサを入れれば、価電子バンド不連続

(4)

特開平7-326629

5

い程度に薄くしておくことが必要であり、たとえば $1.0 \text{ nm}$ 程度が望ましい。

【0018】このようにスペーサ層9を用いることで、偏電子バンド不連続10が形成されるようになるので、ベース・コレクタ接合付近での電界勾配が減少しても、ベース層3からコレクタ層2への正孔漏れを抑制することができる。なお、図4において、他の符号は図7と同様である。

【0019】実施例2、図5は、この発明の第2の実施例であるHBTのエネルギー・バンド状態を示すバンド図(a)と、その構成を示す断面図(b)である。同図において、11はN形不純物を含む $In_{0.5}Ga_{0.5}As$ からなる厚さ $5 \text{ nm}$ のサブスペーザ層であり、他の層構成は図4と同様である。ベース層3より注入された電子はコレクタ層2において加速される。図7に示した従来のHBTでは、この加速により電子の初期注入速度が $1 \times 10^7 \text{ cm/s}$ となる。しかし、コレクタ層2内では、電子の初期注入速度が最大 $1 \times 10^8 \text{ cm/s}$ となることが可能である。

【0020】ここで、サブスペーザ層11の不純物濃度を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とすれば、スペーザ層9の伝導バンドにおけるボテンシャル落差12を $1.2 \text{ eV}$ とすることはできる。そして、このボテンシャル落差12によって、ベース層3から注入された電子は急速に加速され、典型的な化合物半導体中の最大電子速度である $1 \times 10^8 \text{ cm/s}$ にまで加速される。この結果、低コレクタ電圧、高コレクタ電流でのバイアス条件でも、空間電荷を比較的少なく抑えることができ、より一層のコレクタ電流注入が可能となる。

【0021】そして、かかる状況においても、偏電子バンド不連続の効果は有効に働き、カーブ効果を充分に抑制することができる。以上の効果により、この実施例2によれば、コレクタ接合容量を増加させることなく、高コレクタ電流を注入することができるので、HBTの詔高速化には極めて有効である。

【0022】実施例3、図6は、この発明の第3の実施例であるHBTのエネルギー・バンド状態を示すバンド図(a)と、その構成を示す断面図(b)である。同図において、15は電導性不純物を含まない $InAs_{x}P_{1-x}$ からなるスペーザ層であり、他の層構成は図7と同様で

10

6

【0024】偏電子バンド不連続17は、ベース層3の正孔がコレクタ層2へと漏れ出すのを防止する。そして、伝導バンド不連続17により、ベース層3から注入された電子は直ちに加速され、前述したように、コレクタ層2内の空間電荷は減少し、その結果、注入可能なコレクタ電流を増加させることができる。

【0025】ところで、上記実施例1、3では、スペーザ層として $InAs_{x}P_{1-x}$ を用いるようにしたが、これに限るものではなく $InAs$ と $InP$ からなる歪層超格子を用いるようにしても良い。実施例1の場合、 $InAs$ と $InP$ の厚さを、それぞれ $1.1 \text{ nm}$ 、 $1.9 \text{ nm}$ 程度とすればよい。また、実施例3の場合、 $InAs$ の厚さをベース層3側からコレクタ層2側へ向かって、それぞれ $1.7$ から $1.1 \text{ nm}$ へと変化させ、 $InP$ の厚さをベース層3側からコレクタ層2側へ向かって、それぞれ $1.3$ から $1.9 \text{ nm}$ へと変化させればよい。

【0026】ところで、上記実施例では、コレクタ層に $InGaAs$ を用いるようにしたが、これに限るものではなく $InP$ を用いるようにしても良い。コレクタ層に $InP$ を用いることで、コレクタ層におけるバンドギャップエネルギーを大きくすることができ、コレクタ耐圧を向上させることができ。なお、この場合、たとえば $InAsP$ からなるスペーザ層において、 $As$ の組成比をコレクタ層方向に向けて漸減させて、コレクタ層との接合面において伝導バンド端のエネルギーを大きくして、伝導バンドに不連続を形成しないようにする。

【0027】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、 $InAsP$ もしくは $InAs$ と $InP$ による歪層超格子からなるスペーザ層を用いることで、コレクタ層よりベース層に正孔が漏れないようにした。このため、高密度のコレクタ電流を注入しても、ベース・コレクタ間のコレクタ接合容量が増加することなく、コレクタ電流の上限を拡大することができる。したがって、この発明によれば、高速動作機能が可能なHBTを従来の結晶成長法を用いて容易に形成できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

40 【図1】  $InAs_{x}P_{1-x}$ のバンド構造を示す説明図で

(5)

特開平7-326629

7

【図5】 この発明の第2の実施例であるHBTのエネルギー-band状態を示すバンド図(a)と、その構成を示す断面図(b)である。

【図6】 この発明の第3の実施例であるHBTのエネルギー-band状態を示すバンド図(a)と、その構成を示す断面図(b)である。

【図7】 従来のHBTのエネルギー-band状態を示すバンド図(a)と、その構成を示す断面図(b)である。

【図8】 高電流密度のコレクタ電流を注入したときの従来のHBTのエネルギー-band状態を示すバンド図\*

8

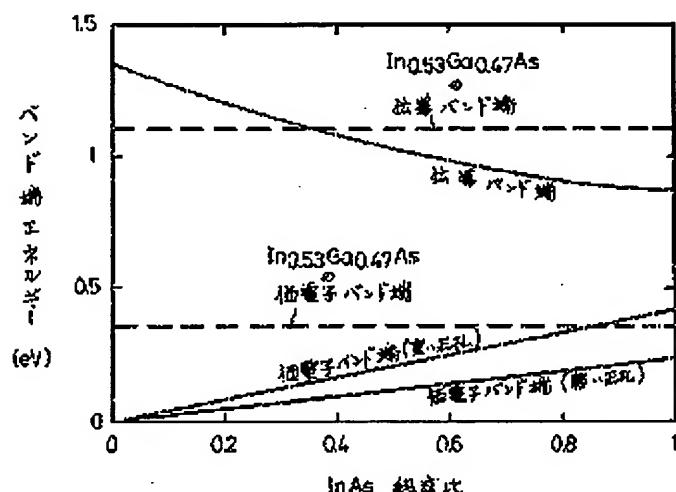
\* (a)と、その構成を示す断面図(b)である。

【図9】 価電子-band不連続が形成されたHBTのエネルギー-band状態を示すバンド図(a)と、その構成を示す断面図(b)である。

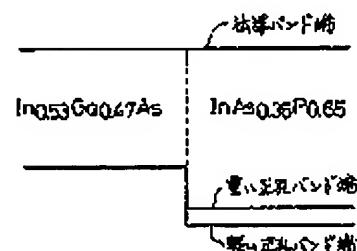
【符号の説明】

1…コレクタコンタクト層、2…コレクタ層、3…ベース層、4…エミッタ層、5…エミッタコンタクト層、9、15…スペーサ層、10、17、20…価電子-band不連続、11…サブスペーザ層、12…ポテンシャル落差、16…伝導-band不連続。

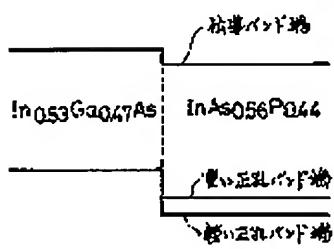
【図1】



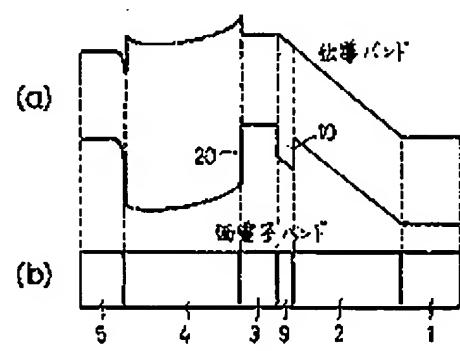
【図2】



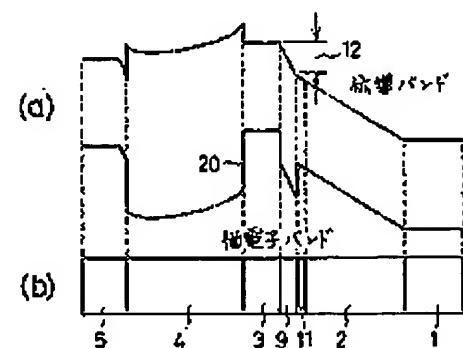
【図3】



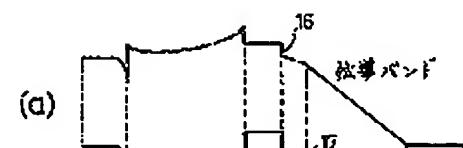
【図4】



【図5】



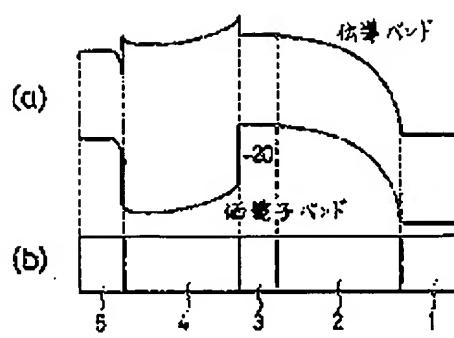
【図6】



(5)

特開平7-326629

【図8】



【図9】

